

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА ДИНАМІКИ І МІЦНОСТІ МАШИН ТА ОПОРУ МАТЕРІАЛІВ

"На правах рукопису"

«До захисту допущено»

УДК _____

Завідувач кафедри ДММ та ОМ

_____ Сергій ПИСКУНОВ

“ ” _____ 2020 р.

МАГІСТЕРСЬКА ДЕСЕРТАЦІЯ

на здобуття ступені магістра

за освітньо-професійною програмою «Динаміка і міцність машин»

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: «Дослідження ефективності використання кріплення
пасажирських крісел з урахуванням виготовлення та ремонтпридатності»

Виконав:

студент VI курсу, групи МП-91мп

Лаврухін Єгор Валерійович _____

Керівник:

д. т. н., професор,

Боронко О. О _____

Рецензент:

д.т.н., проф.

Данильченко Ю.М. _____

Засвідчую, що у цій магістерській
 дисертації немає запозичень з праць
 інших авторів без відповідних посилань.
 Студент _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра динаміки і міцності машин та опору матеріалів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма – «Динаміка і міцність машин»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій ПИСКУНОВ

«__» _____ 2020

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

_____ Лаврухину Єгору Валерійовичу _____.

1. Тема дисертації Дослідження ефективності використання кріплення пасажирських крісел з урахуванням виготовлення та ремонтпридатності науковий керівник дисертації _____ Боронко О. О. д.т.н., проф. _____, затверджені наказом по університету від «__» _____ 2020 р. № _____
2. Строк подання студентом дисертації: 10.12.2020.
3. Об'єкт дослідження: рейка кріплення пасажирських сидінь до полу.
4. Предмет дослідження: міцність рейки при критичних навантаженнях.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: дослідити вплив ремонтних робіт на міцність рейки кріплення пасажирських крісел до полу.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу 24 рисунки.

7. Орієнтовний перелік публікацій 1 і більше.

8. Дата видачі завдання: 01 вересня 2020 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Ознайомлення з літературою	02.09.20-01.10.20	Виконано
2	Створення 3D-моделі рейки	01.10.20-15.10.20	Виконано
3	Чисельний розрахунок моделі	15.10.20-01.11.20	Виконано
4	Аналітичний розрахунок	01.11.20-15.11.20	Виконано
5	Порівняння результатів отриманих чисельними та аналітичними методами	15.11.20-22.11.20	Виконано
6	Підготовка стартап-проекту	22.11.20-27.11.20	Виконано
7	Оформлення роботи	27.11.20-15.12.20	Виконано

Студент

Єгор ЛАВРУХІН

Науковий керівник

Олег БОРОНКО

Анотація

Дана магістерська дисертація за обсягом роботи складає 38 сторінок, 24 ілюстрації, 18 таблиць та містить 7 літературних джерел.

Актуальність даної роботи полягає в тому, що за допомогою комп'ютерної моделі та за допомогою аналітичного розрахунку можна дізнатись розподіл внутрішніх навантажень в рейці кріплень пасажирських крісел від прикладеної сили. Що дає розуміння в подальшому проектуванні рейок.

Об'єкт дослідження – комп'ютерна модель рейки кріплень пасажирських крісел до полу та аналітичний розрахунок внутрішніх зусиль.

Мета дослідження – дослідження ефективності використання кріплення пасажирських крісел з урахуванням ремонтпридатності.

Ключові слова: пасажирські сидіння, рейка кріплення, розрахунки на міцність, ефективність ремонтпридатності.

Abstract

This master's thesis consists of 42 pages, 24 illustrations, 18 tables and contains 7 literature sources.

The relevance of this work is that with the help computer model and by analytical calculation is possible find out the distribution of internal loads in the floor seat track from the attached forces. Which gives insight into the further design of the seat tracks.

The object of research is a computer model of the rail of passenger seats to the floor and analytical calculation of internal forces.

The purpose of the study is to study the effectiveness of the use of passenger seat mounting, taking into account maintainability.

Key words: passenger seats, mounting rail, strength calculations, maintainability efficiency.

Зміст

Анотація.....	4
Abstract	5
Зміст.....	6
Вступ.....	8
Розділ 1. Постановка задачі.....	12
Вхідні дані.....	12
Розділ 2. Теоретичні відомості розрахунку	
рейки.....	14
Метод опору матеріалів.....	14
Метод скінченних елементів.....	17
Розділ 3. Створення моделі рейки кріплення та розрахунок її на міцність.	19
Створення та розрахунок моделі	
рейки.....	19
Розділ 4. Розроблення стартап проекту.....	28
4.1. Опис ідеї проекту.....	28
4.2. Технологічний аудит.....	28
4.3. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	35
4.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	36
Висновки	40
Список використаної літератури.....	41

Вступ

Актуальність проблеми

Якщо не враховувати вплив так званого "людського фактора" (помилки екіпажу при керуванні літаком, невиконання або неналежне виконання регламентних робіт технічним персоналом), то всі випадки руйнування деталей або агрегатів літака обумовлені трьома основними причинами - корозією, втомою і зносом [1].

Повністю уникнути корозії алюмінієвих сплавів (з яких в основному виготовлений планер) неможливо. Це обумовлено контактом різнорідних матеріалів, старінням лакофарбових покриттів, технологічними і експлуатаційними ушкодженнями плакірованого шару, анодних і гальванічних покриттів, можливими дефектами структури, агресивних середовищ та ін. [2].

Після виготовлення металевих конструкцій їх негайно захищають корозійно-стійким сплавом і покривають різними металами, фарбами та хімічними перетвореннями.

Але все ж таки корозія може виникати і всередині seat track. Так як в салоні також підтримується вологість повітря системами життєдіяльності та кондиціонування повітря в гермокабіні літака.

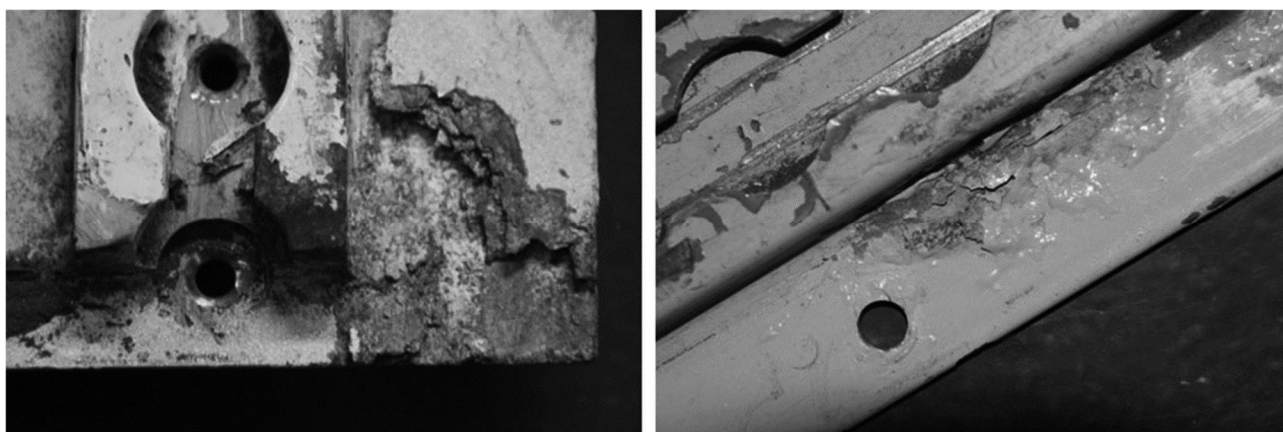


Рис 1.1. Корозія рейки кріплення сидінь до полу

Виявлення корозії зазвичай проходить на її ранніх стадіях, тому щоб не заміняти повністю рейку проводять зачистку та шліфовку районів виникнення корозії. небезпечними являються внутрішні поверхні рейки.

Тому одна із цілей роботи провести дослідження та виявити як впливають заходи запобігання поширенню корозії.

Практичне значення

Кожен літак, що має право здійснювати пасажирські перевезення, дуже ретельно перевіряється. Існує регламент і норми технічного обслуговування літаків, згідно з міжнародними стандартами [3].

Вони полягають в наступному:

Транзитна перевірка (Transit Check) - це найпростіша візуальна перевірка зовнішнього стану і основних вузлів літака. Виконується перед 8 кожним вильотом літака. Технік уважно оглядає весь літак на наявність дефектів або пошкоджень обшивки. Перевіряються двигуни і найбільш важливі системи.

Щоденна технічна перевірка (Daily Check) - це щодобовий технічний огляд літака, виконується кожні 24-36 годин. Відбувається найчастіше вночі. Літак ретельно оглядається на видимі пошкодження і перевіряється його загальний стан, основні вузли, рівень необхідних рідин в системах і аварійне обладнання.

Щотижнева технічна перевірка (Weekly Check). Виконується протягом 3-5 годин, кожні 7-10 днів.

Кожні 500 - 800 годин нальоту або 200 - 400 циклів (циклом вважається зліт-посадка), проходить А-перевірка (A-check) . Це перше глибоке технічне обслуговування літака. Ця перевірка виконується в спеціальних ангарах із застосуванням спеціального обладнання. Якщо в порту приписки авіакомпанії воно відсутнє, маршрут літака розраховується так, щоб в запланований час літак виявитися на місці, де буде проходити технічний огляд. Перевірка займає 20-50 годин.

В-перевірка (V-check) - виконується кожні 4-6 місяців. У цю перевірку може входити й додаткова А-check. Вимагає близько 150 людино-годин і може займати до 3-х днів в спеціальному ангарі.

С-перевірка (C-check) - виконується, приблизно, кожні 2 роки. Дуже ретельна перевірка, яка потребує наявності великої кількості спец. техніки та спеціальних ангарів. Виконується протягом 1-2 тижнів і може витратити близько 6000 людино-годин. До повного закінчення перевірки літак не покидає меж ангара. Перевіряються всі системи й компоненти літака.

D-перевірка (D-check) - найбільше технічне обслуговування літака. Проходить один раз в 5-7 років, в залежності від типу літака. Лайнер заганяється в спеціальний ангар і 2 місяці над ним працюють техніки.



Рис 1.2. D-check

Під час такої перевірки літак розбирається повністю, включаючи: інтер'єр, керма, паливні баки, приладові панелі, двигуни. Велика частина деталей змінюється на нові, може відбуватися переобладнання систем, салону, фарбування літака. Знімаються повністю всі пасажирські сидіння літака, панелі пола, рейки кріплення сидінь до пола, усі кріплення та внутрішні поверхні перевіряються на корозію.

Технічне обслуговування літака спрямоване на підтримку їх постійної справності й готовності до польоту. Без технічного обслуговування і належного догляду будь-який літак дуже швидко приходить в непридатний до польотів стан. Грамотне технічне обслуговування літака є основним чинником безпечних польотів.

Мета роботи

Мета дослідження – дослідження та порівняння міцності рейки кріплення пасажирських крісел до полу літака при критичних навантаженнях типової конструкції та після ремонтних робіт.

Задачею дослідження є провести розрахунки моделі при критичних навантаженнях рейки кріплення пасажирських крісел до полу типової конструкції та після ремонтних робіт, дослідити міцність.

Мета досягається методом скінченних елементів (FEM), реалізованого в системах MSC Patran/Nastran students edition.

Розділ 1. Постановка задачі

Вхідні дані

Кріплення сидіння до полу салону літака являє собою рейку довжиною приблизно 4 – 240 inch, з поперечним перетином у вигляді скоби, зверху зроблені отвори для монтажу кріплень (fittings) сидіння [4].

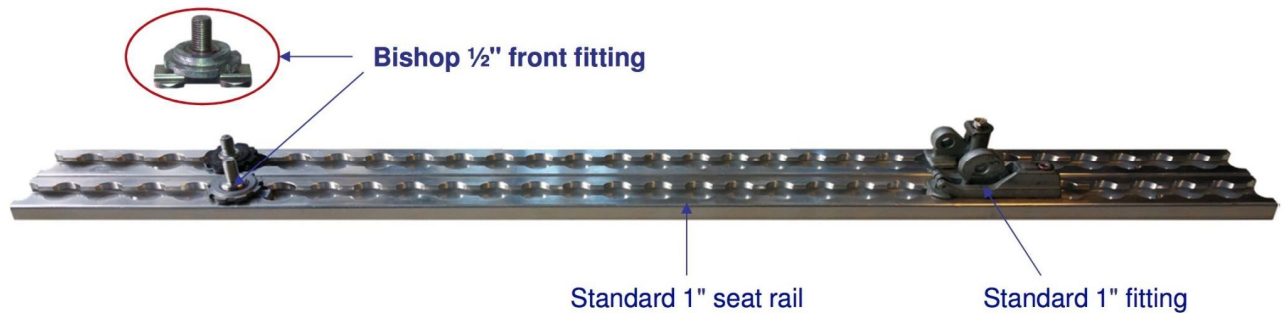


Рис 1.3. Рейка кріплення сидінь

Пасажирські сидіння кріпляться до рейки за допомогою кріплень які зроблені з урахуванням швидкого монтажу. Тому контакт кріплень з рейкою буде припадати на нижні частини виступів між отворами для монтажу кріплень.

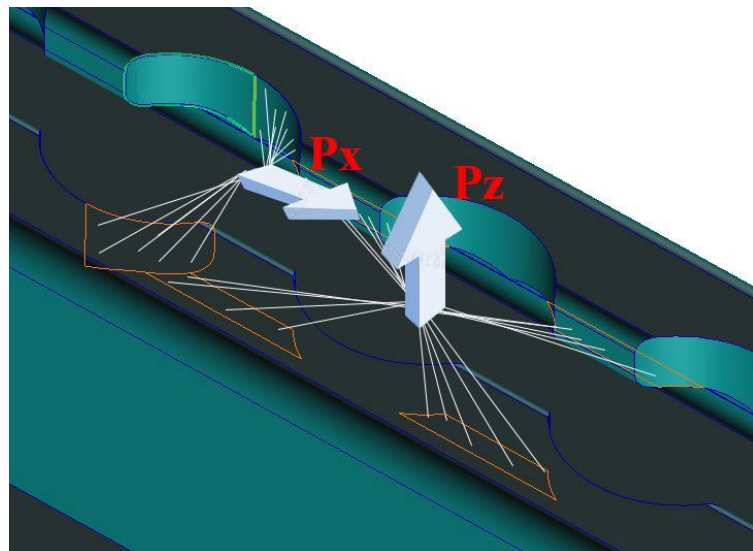


Рис 1.4. Зона контакту кріплень сидінь з рейкою

Рейка кріпиться за допомогою болтів до балки полу, які розташовані поперек всього фюзеляжу та установлені по шпангоутам. Відстань між балками полу 20 дюймів, в розрахунковій схемі вони позначені як шарнірні опори.

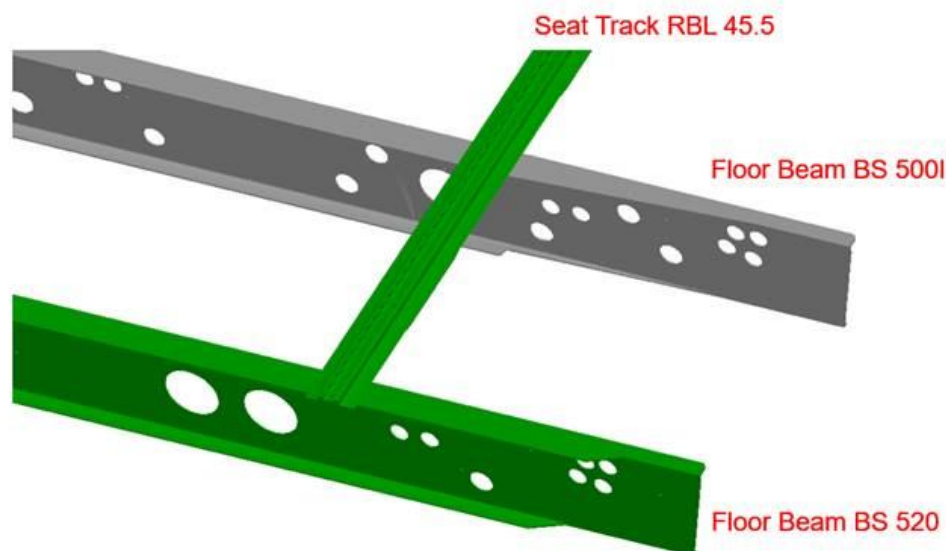


Рис 1.5. Рейка опирається на балки полу

Крісла та окремі маси (і їх опорна конструкція) під дією навантажень не повинні деформуватися, щоб не створювати перешкоди подальшої швидкої евакуації пасажирів і екіпажу, тому для розрахунку взяли критичний випадок при аварійній посадці, з перегрузкою 9g направлене уперед, або вздовж рейки [5]. Та будемо досліджувати чи буде конструкція переходити до пластичних деформацій під дією цього навантаження.

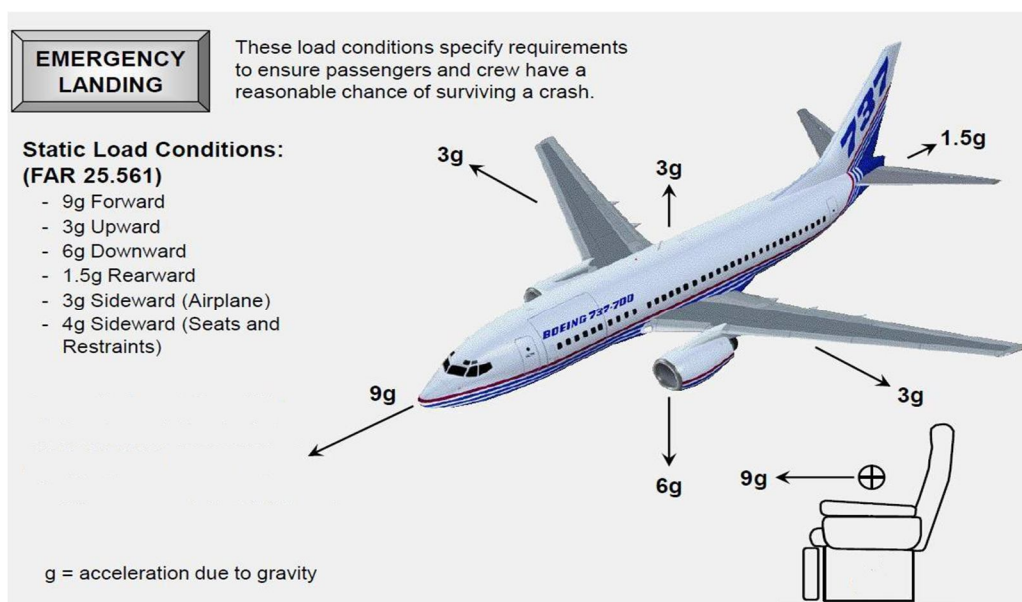


Рис 1.6. Навантаження при аварійній посадці

Пасажирські сидіння являють собою три стільчики з двома опорами між ними.



Рис 1.7. Пасажирські сидіння

Результати роботи можуть бути використані при проектуванні рейки кріплення сидінь до полу літаків типу Boeing 737 NG.

Розділ 2. Теоретичні відомості розрахунку рейки.

В роботі проводиться розрахунок рейки кріплення пасажирських сидінь до полу, методами які описані нижче:

Метод опору матеріалів

Рейка кріпиться до балок полу, тому їх можна замінити шарнірними опорами в розрахунковій схемі.

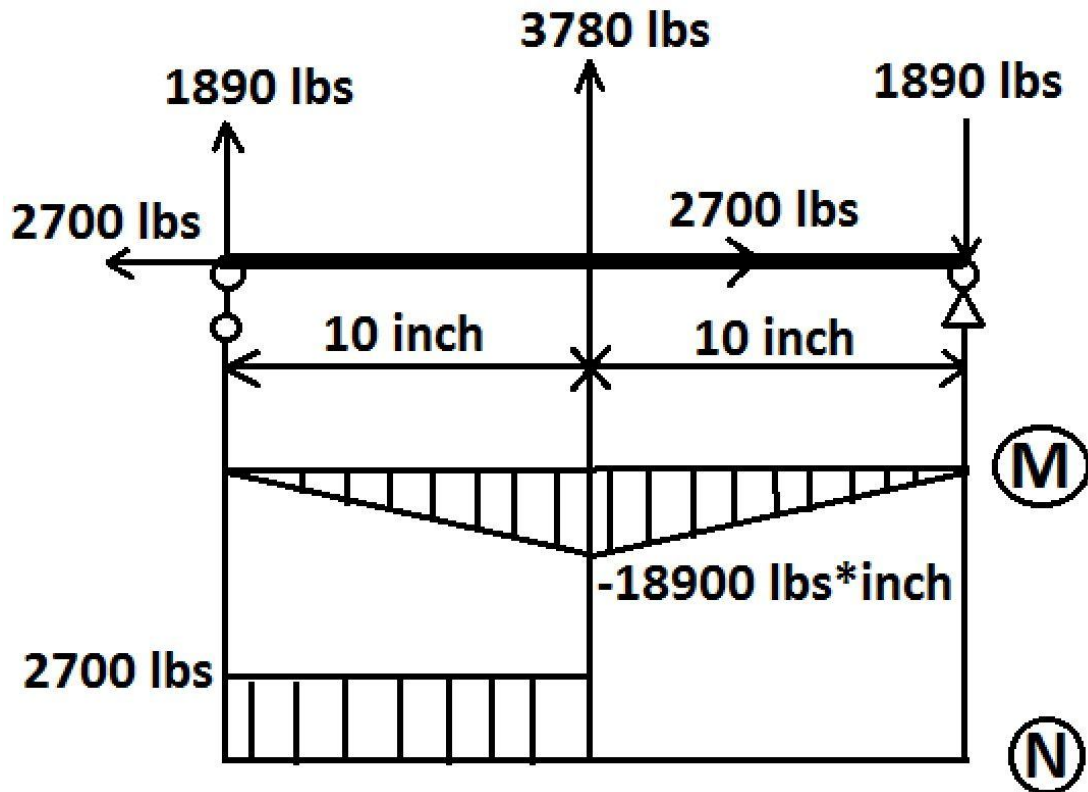


Рис 2.1. Епюри розподілу навантажень

Звідси виходить, що максимальний момент у перетині $M_{\max} = -18900$ lbs*inch, а поздовжня сила $N_{\max} = 2700$ lbs.

Так як максимальне навантаження приходить на область з отвором для кріплення сидінь, поперечний перетин буде мати наступний вигляд:

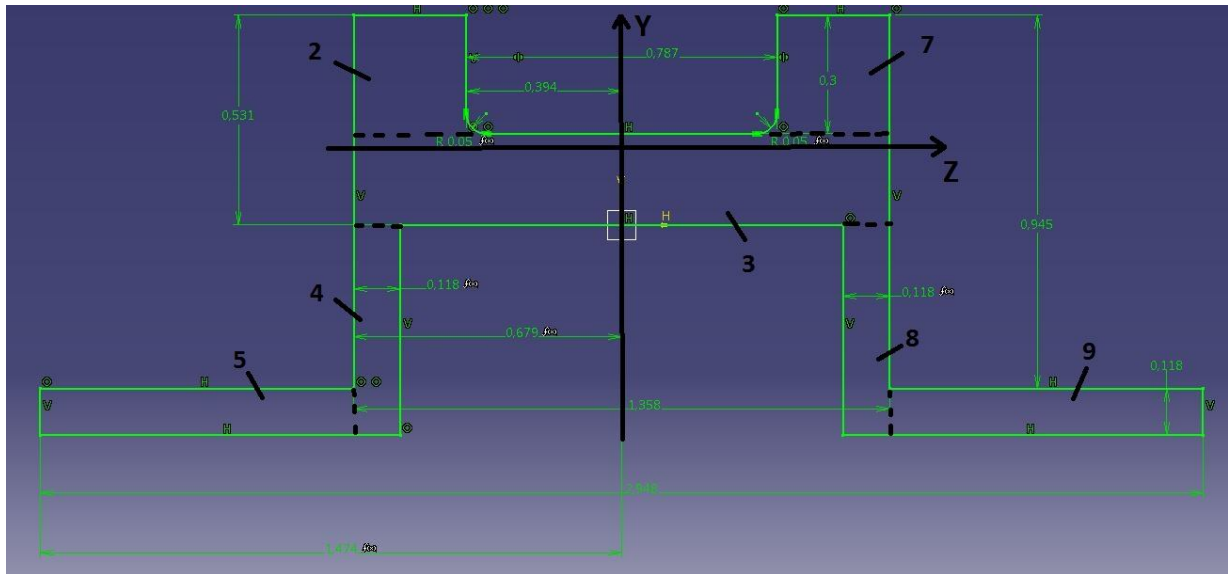


Рис 2.2. Поперечний перетин конструкції

Розділимо його на зручні для розрахунку геометричних характеристик елементи, та знайдемо моменти інерції кожної.

Геометричні характеристики									
b2=b7	0,2855	inch				Zc	1,35	inch	
h2=h7	0,3	inch	A2=A7	0,08565	inch ²	Yc	0,74231	inch	
b3	1,358	inch	A3	0,3137	inch ²				
h3	0,231	inch	A4=A8	0,06278	inch ²				
b4=b8	0,118	inch	A5=A9	0,07989	inch ²				
h4=h8	0,532	inch	A	0,54201	inch ²				
b5=b9	0,677	inch							
h5=h9	0,118	inch							

Рис 2.3 Геометричні характеристики перетину

Момент інерції для одного елемента:

$$I_{z1} = (b_1 h_1^3)/12; \quad I_{y2} = (h_1 b_1^3)/12 \quad (2.1)$$

Тому для кожного елемента відносно власних осей:

Моменти інерції					
lz2=lz7	0,00064	inch ⁴	ly2=ly5	0,00058	inch ⁴
lz3	0,00139	inch ⁴	ly3	0,04821	inch ⁴
lz4=lz8	0,00148	inch ⁴	ly6=ly7	7,3E-05	inch ⁴
lz5=lz9	9,3E-05	inch ⁴	lz5=lz9	0,00305	inch ⁴

Рис 2.4. Моменти інерції відносно власних осей

Моменти інерції кожного елемента відносно центральних осей кожного елемента:

$$I_z = I_{z1} + a^2 A; \quad I_y = I_{y1} + b^2 A \quad (2.2)$$

Тому моменти інерції кожного елемента відносно центральних осей всього перетину та моменти інерції всього перетину:

lz2=lz7	0,00314	ly2=ly7	0,02521	inch ⁴
lz3	0,00421	ly3	0,04821	inch ⁴
lz4=lz8	0,01572	ly4=ly8	0,0242	inch ⁴
lz5=lz9	0,03739	lz5=lz9	0,08576	inch ⁴
lz	0,11672	inch ⁴	Wz	0,15724 inch ³
ly	0,31856	inch ⁴	Wy	0,23597 inch ³

Рис 2.5. Моменти інерції відносно центральних осей перетину

Максимальні напруження при згині для перетину будуть розраховуватись наступним чином:

$$\sigma_{\max} = M_{\max} / W_y = 18900 / 0.23597 = 80095.9 \text{ psi} \quad (2.3)$$

Напруження від поздовжньої сили будуть:

$$\sigma_{\max} = N / A = 2700 / 0.54201 = 4981.46 \text{ psi} \quad (2.4)$$

Звідси еквівалентні напруження які ми будемо порівнювати з результатами розрахунку СЕ моделі:

$$\sigma_{\text{екв.}} = \left| - M_{\text{max}} / W_y + N / A \right| = 75114,4 \text{ psi} \quad (2.5)$$

Метод скінченних елементів

При побудові дискретної моделі безперервної величини діють у такий спосіб [6]:

1. У розглянутій області фіксується кінцеве число крапок. Ці крапки називаються вузовими крапками або просто вузлами.
2. Значення безперервної величини в кожній вузовій крапці вважається змінною. Вона повинна бути визначена.

3. Область визначення безперервної величини розбивається на кінцеве число підобластей, які називаються елементами. Ці елементи мають загальні вузові крапки й у сукупності апроксимують форму області.

4. Безперервна величина апроксимується на кожному елементі поліномом, що визначається за допомогою вузових значень цієї величини. Для кожного елемента визначається свій поліном, але поліноми підбираються таким чином, щоб зберігалася безперервність величини уздовж границь елемента.

У загальному разі математичне формулювання задачі статичної пружності (або напружено-деформованого стану) можна представити у векторній формі, що включає рівняння руху і рівноваги, геометричне рівняння для тензору малих деформацій та фізичне рівняння у вигляді узагальненого закону Гука [7]:

$$\begin{cases} \nabla \cdot \hat{\sigma} + \mathbf{f} = 0; \\ \hat{\varepsilon} = \frac{1}{2}(\nabla \mathbf{u} + \mathbf{u} \nabla); \\ \hat{\sigma} = \hat{C} : \hat{\varepsilon}, \end{cases} \quad (2.6)$$

де, $\nabla = \frac{\partial}{\partial x_i}$, $(i = 1, 2, 3)$ – оператор Гамільтона, m^{-1} , x_1, x_2, x_3 – декартові координати, м; \cdot – оператор скалярного добутку вектора на тензор; $\hat{\sigma}$ – симетричний тензор напружень 2-го рангу, Па; f – вектор об’ємних сил, наприклад, гравітаційних, Па; $\hat{\epsilon}$ – симетричний тензор 2-го рангу пружних деформацій Коші; $u = (u_1, u_2, u_3)$ – вектор переміщень, м; $u\nabla \equiv (\nabla u)^T$;
 $C_{ijkl} = \mu(\delta_{ik}\delta_{jl} + \delta_{il}\delta_{jk}) + \lambda\delta_{ij}\delta_{kl}$ – компоненти тензора 4-го рангу пружних властивостей ізотропного матеріалу, що зазвичай справедливо для конструкторських розрахунків, Па; $:$ – оператор подвійного скалярного добутку; $\mu = \frac{E}{2(1+\nu)}$ і $\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}$ – коефіцієнти Ламе, Па; E – модуль пружності під час розтягу, Па; ν – коефіцієнт Пуасона;

$$\delta_{ij} \begin{cases} 1, & \text{при } i = j \\ 0, & \text{при } i \neq j \end{cases} - \text{символ Кронекера.}$$

Розділ 3. Створення моделі рейки кріплення та розрахунок її на міцність

У даній роботі 3д модель рейки була створена у CAD програмі Catia V5 і потім імпортована у Patran для подальшого розрахунку. Нижче описані основні кроки створення моделі.

Усі креслення були взяті з загального доступу [4].

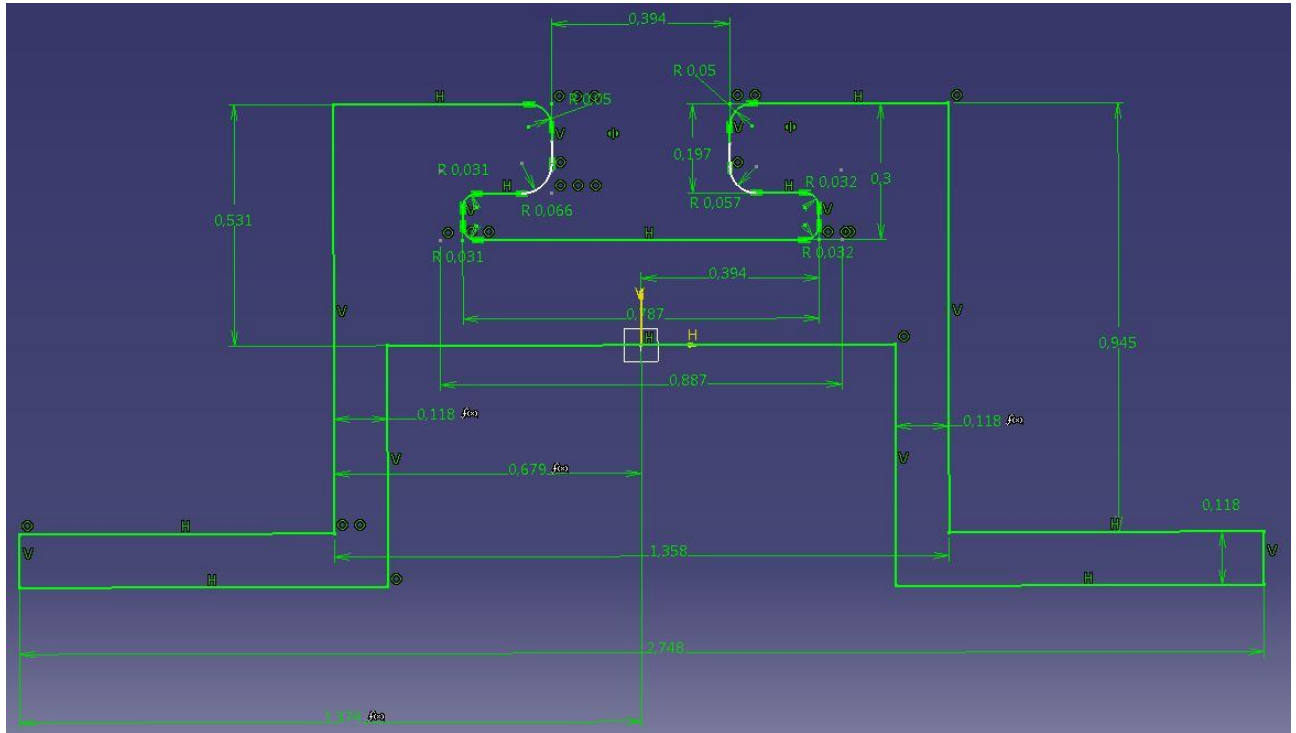


Рисунок 3.1. Геометричні характеристики моделі

Усі геометричні побудови були реалізовані за допомогою системи автоматичного проектування Catia V5 та імпортовані у систему CAE Patran/Nastran students edition для подальшого розрахунку.

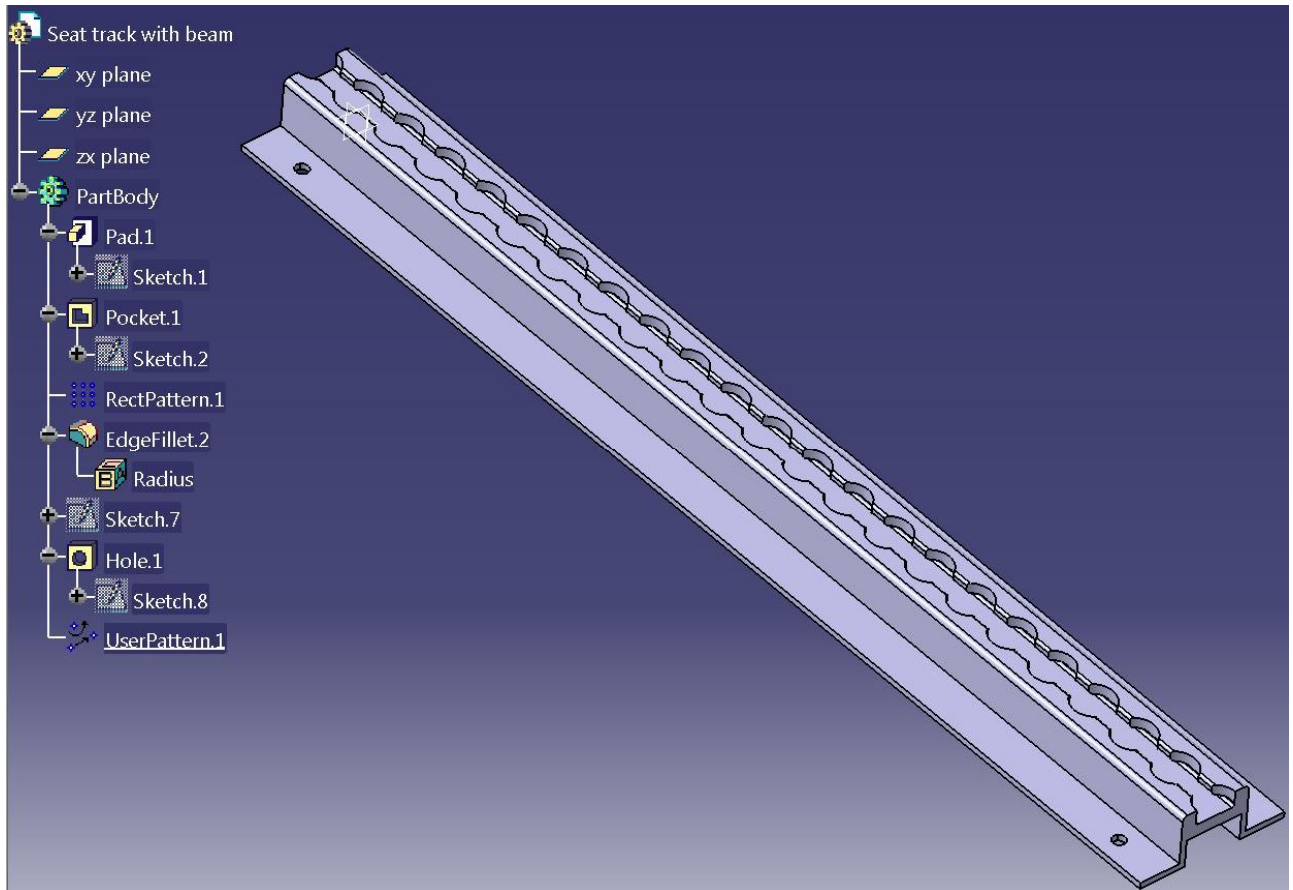


Рис 3.2. Комп'ютерна модель конструкції

Фізичні властивості матеріалу задаються у модулі Materials згідно табличних значень. У вікні Input properties створюється матеріал Aluminium 7178, у якого такі пружні характеристики: Density $\rho = 0,1$ (lbf*s2/in4), Young's Modulus $E = 1,03 \cdot 10^7$ (psi), Poisson's Ratio = 0,33 [MMPDS].

Seat Track		
Aluminum 7178-T6511		
E	1.03E+07	<i>psi</i>
v	0.33	
Fty	80	<i>ksi</i>
Ftu eng	88	<i>ksi</i>
Ftu true	94	<i>ksi</i>
Elong	0.05	<i>in/in</i>

Рис 3.3. Властивості матеріалу

Для задання скінченноелементної сітки переходимо до модулю Elements, та за допомогою функції Create – Mesh – Solid задаємо конструкції сітку з тетрагональних елементів. Global edge length (розмір одного елементу) задаємо 0,2 inch.

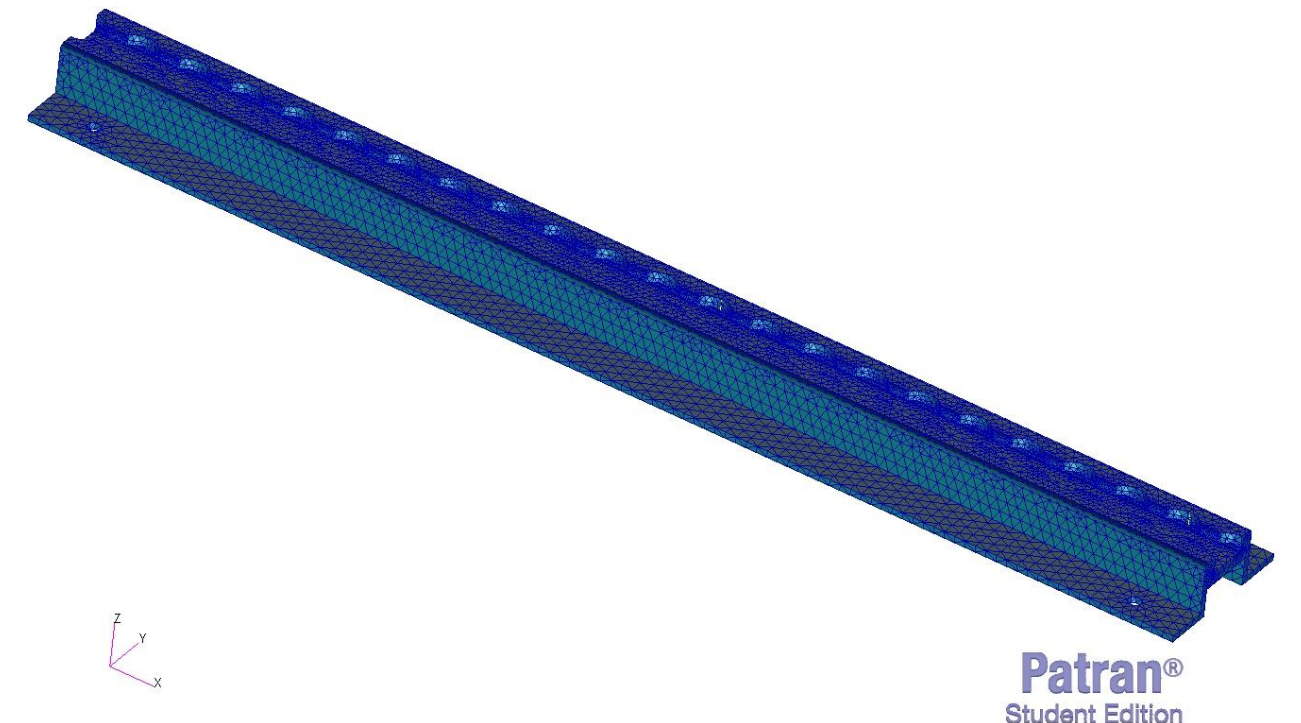


Рис 3.4. Скінченноелементна модель

Для того щоб не було розбіжностей між розрахунком моделі та аналітичним розрахунком, задаємо граничні умови однаковими в обох розрахунках. Тобто шарнірні опори. У модулі Loads/BS за допомогою функції Create – Displacement – Nodal у вхідних даних вказуємо обмеження у переміщеннях по всім осям та по поворотам навколо осей z та x на одній опорі і залишаємо можливість переміщатися тільки вздовж осі x та здійснювати поворот тільки навколо осі y на іншій опорі.

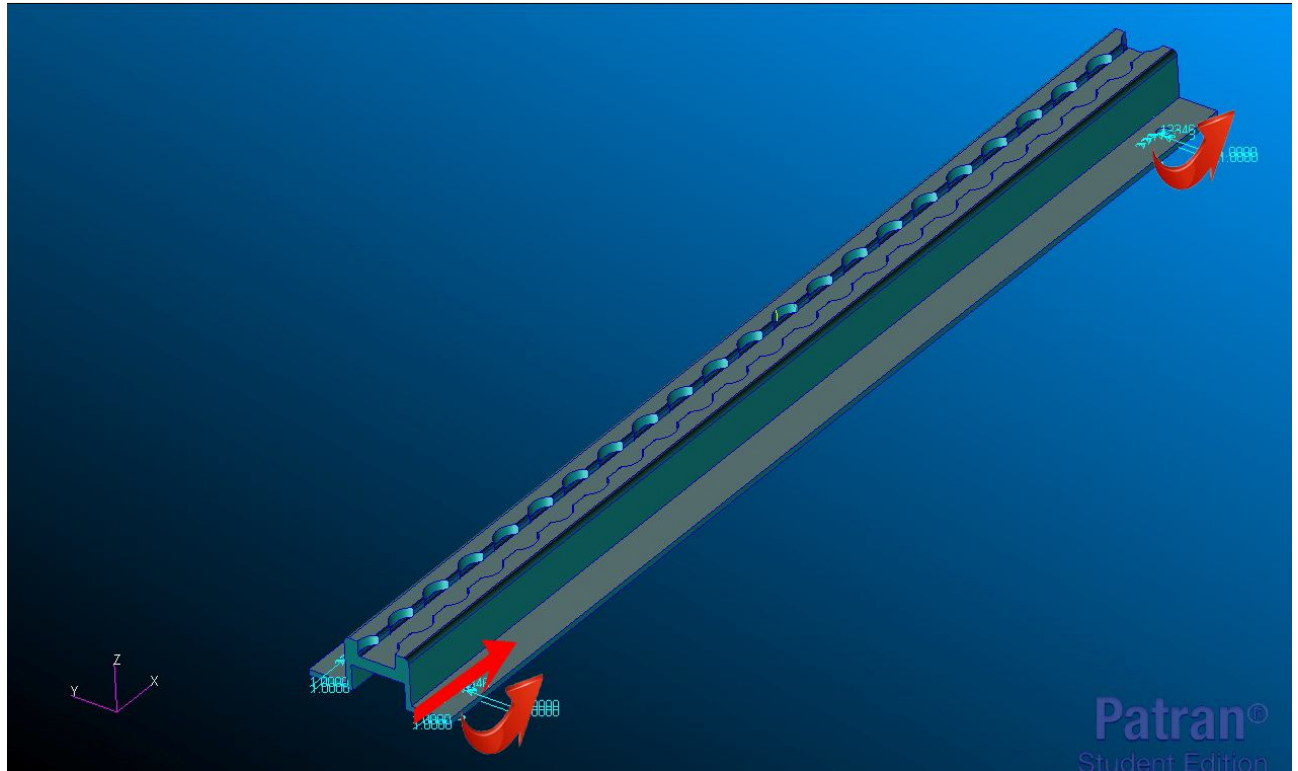


Рис 3.5. Граничні умови

Для навантаження рейки ми вибрали реакції однієї ніжки при критичному випадку, це навантаження посередині рейки. Конструкція пасажирського сидіння складається з трьох стільчиків та двох опор між ними.

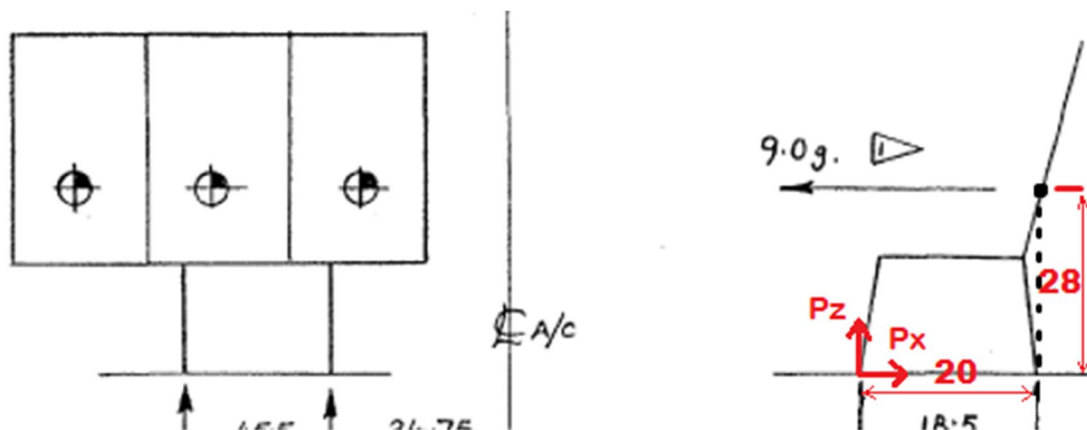


Рис 3.6. Розрахункова схема

При критичному навантаженні (аварійна посадка літака) з прискоренням $9g$ направленим вперед на опори діє сила $F = (((185 \cdot 3) + 45) / 2) \cdot 9 = 2700 \text{ lbs}$, де 185 lbs – вага пасажирів, 45 lbs – вага конструкції сидінь.

Відстань від центру ваги до полу – 28 inch, а між самими опорами – 20 inch, тому сила на одну опору становить $F_{оп.} = (2700 \cdot 28) / 20 = 3780 \text{ lbs}$. Величини реакцій опор дорівнюють силам з якими опори діють на рейку, тобто $P_x = 2700 \text{ lbs}$, $P_z = 3780 \text{ lbs}$.

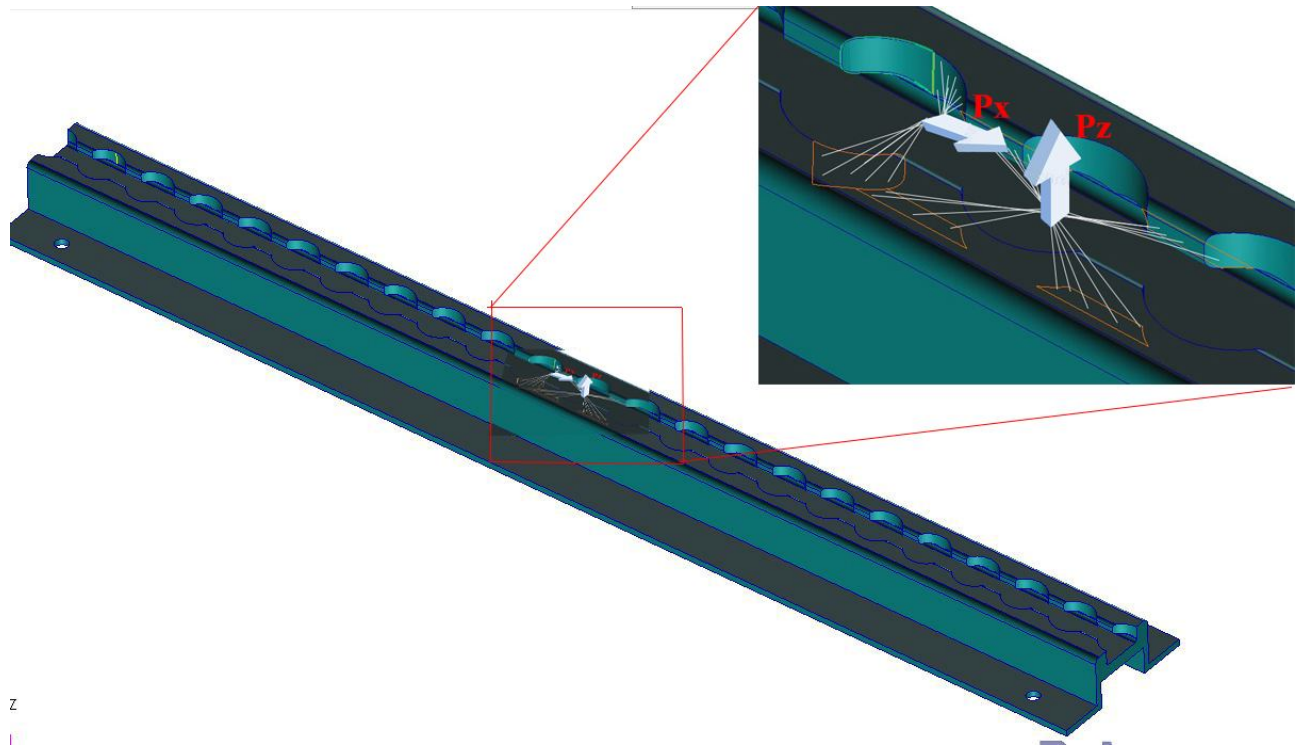


Рис 3.7. Умови навантаження

Кінцевим етапом являється створення обчислювального процесу. Для цього в модулі Analysis вибираємо Solution type: Linear static, у вкладці Subcases можемо вибрати результати аналізу які хочемо побачити, для цього заходимо до Output requests та вибираємо Displacement – all Fem, Stress – all Fem, Force – all Fem. Переконаємося, що усі види навантаження та обмеження задані, для цього переходимо до вкладки Subcase select та вибираємо потрібний пакет навантажень які ми задали до цього. Нажимаємо Apply та чекаємо завершення розрахунків, щоб побачити результати треба додати файл з розширенням .h5 (так як була використана система students edition) у модулі Analysis функцією Access results – Attach HDF5 – Results entities.

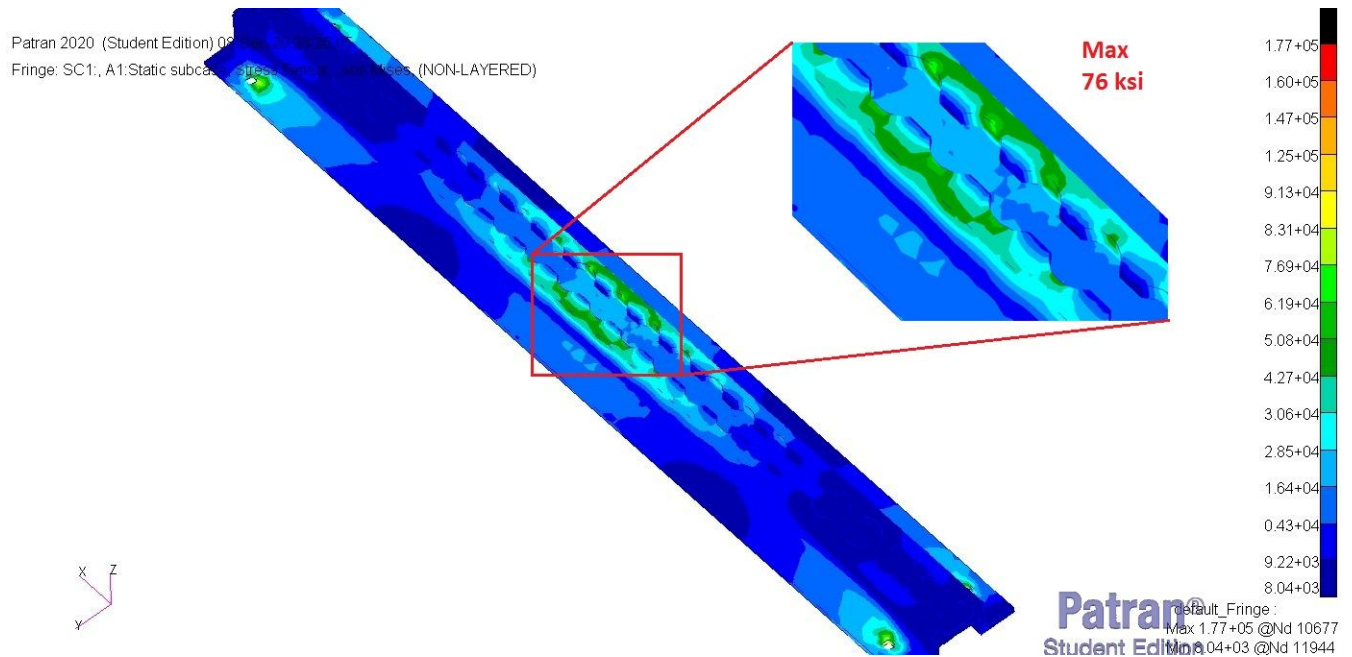


Рис 3.8. Напруження за Мізесом

Максимальні напруження в зоні прикладення сили за розрахунком $\sigma_{\max} = 76 \text{ ksi} = 76000 \text{ psi}$ що є менше ніж границя текучості $\sigma_T = 80 \text{ ksi}$. Конструкція може витримати критичні навантаження не руйнуючись та не переходячи у пластику. Щоб переконатись у правильності побудови СЕ моделі були зроблені аналітичні розрахунки традиційними методами опору матеріалів.

Геометричні характеристики									
b2=b7	0,2855	inch				Zc	1,35	inch	
h2=h7	0,3	inch	A2=A7	0,08565	inch ²	Yc	0,74231	inch	
b3	1,358	inch	A3	0,3137	inch ²				
h3	0,231	inch	A4=A8	0,06278	inch ²				
b4=b8	0,118	inch	A5=A9	0,07989	inch ²				
h4=h8	0,532	inch	A	0,54201	inch ²				
b5=b9	0,677	inch							
h5=h9	0,118	inch							
Моменти інерції									
Iz2=Iz7	0,00064	inch ⁴	Iy2=Iy5	0,00058	inch ⁴	Iz2=Iz7	0,00314	Iy2=Iy7	0,02521
Iz3	0,00139	inch ⁴	Iy3	0,04821	inch ⁴	Iz3	0,00421	Iy3	0,04821
Iz4=Iz8	0,00148	inch ⁴	Iy6=Iy7	7,3E-05	inch ⁴	Iz4=Iz8	0,01572	Iy4=Iy8	0,0242
Iz5=Iz9	9,3E-05	inch ⁴	Iz5=Iz9	0,00305	inch ⁴	Iz5=Iz9	0,03739	Iz5=Iz9	0,08576
Iz	0,11672	inch ⁴	Wz	0,15724	inch ³				
Iy	0,31856	inch ⁴	Wy	0,23597	inch ³				
Максимальний момент в перерізі					Максимальна поздовжня сила				
Mymax	18900	(lb*inch)	N=	2700					
Максимальні напруження в перерізі									
σymax	80095,9	psi							
σt	4981,46	psi							
σекв.	75114,4	< [80000]	psi						

Рис 3.9. Аналітичний розрахунок

За аналітичними розрахунками, $\sigma_{\text{екв.}} = 75114,4 \text{ psi}$, розбіжність в результатах являє собою 1,3 %, що є допустимим при порівнянні результатів аналітики з СЕ моделі.

Проведемо аналіз такої ж рейки але після проведеного ремонту, тобто зменшення товщини стінок на величину 0,05 inch, що зумовлено шліфівкою частин конструкції зіпсованої корозією.

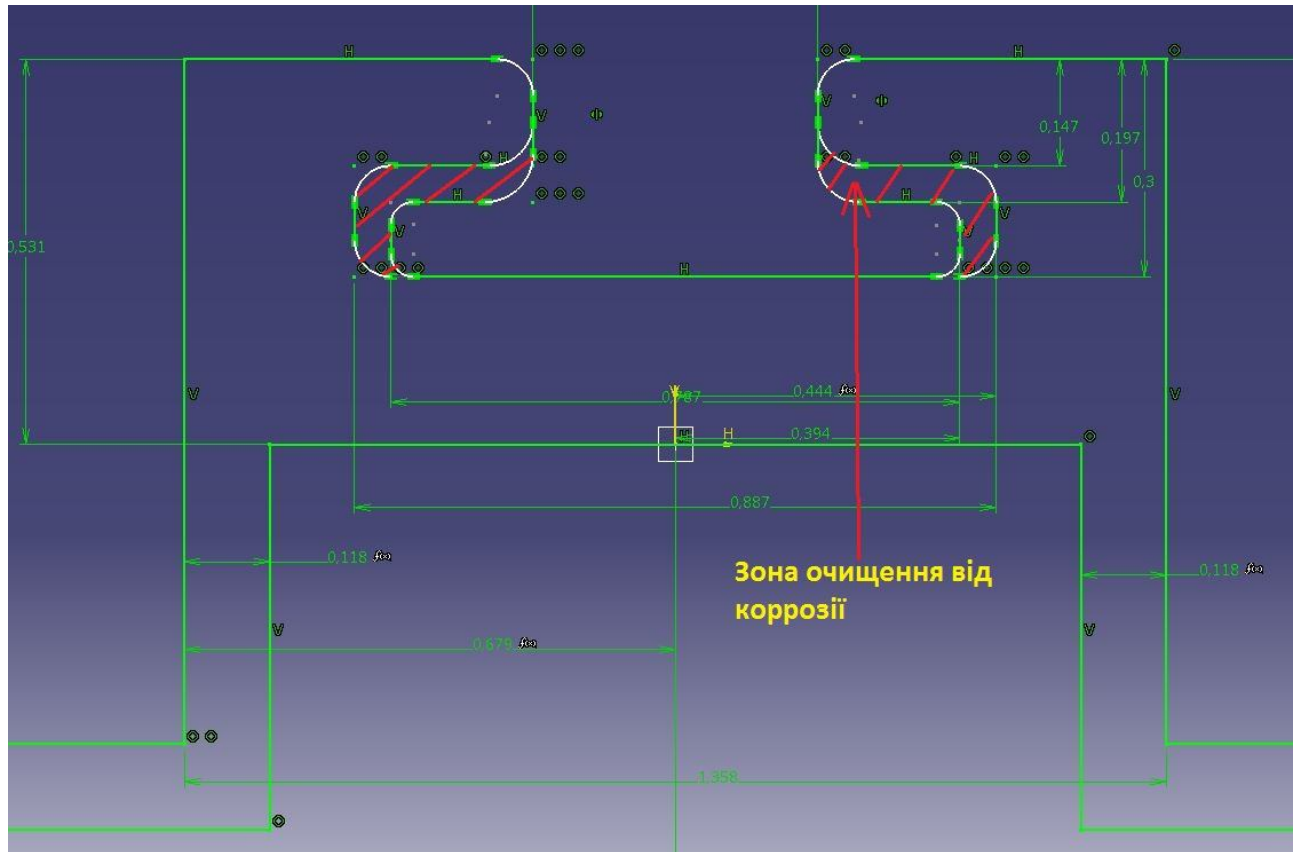


Рис 3.10. Поперечний переріз конструкції після ремонту

Розрахунки проводяться аналогічним способом, змінюється тільки площа поперечного перерізу.

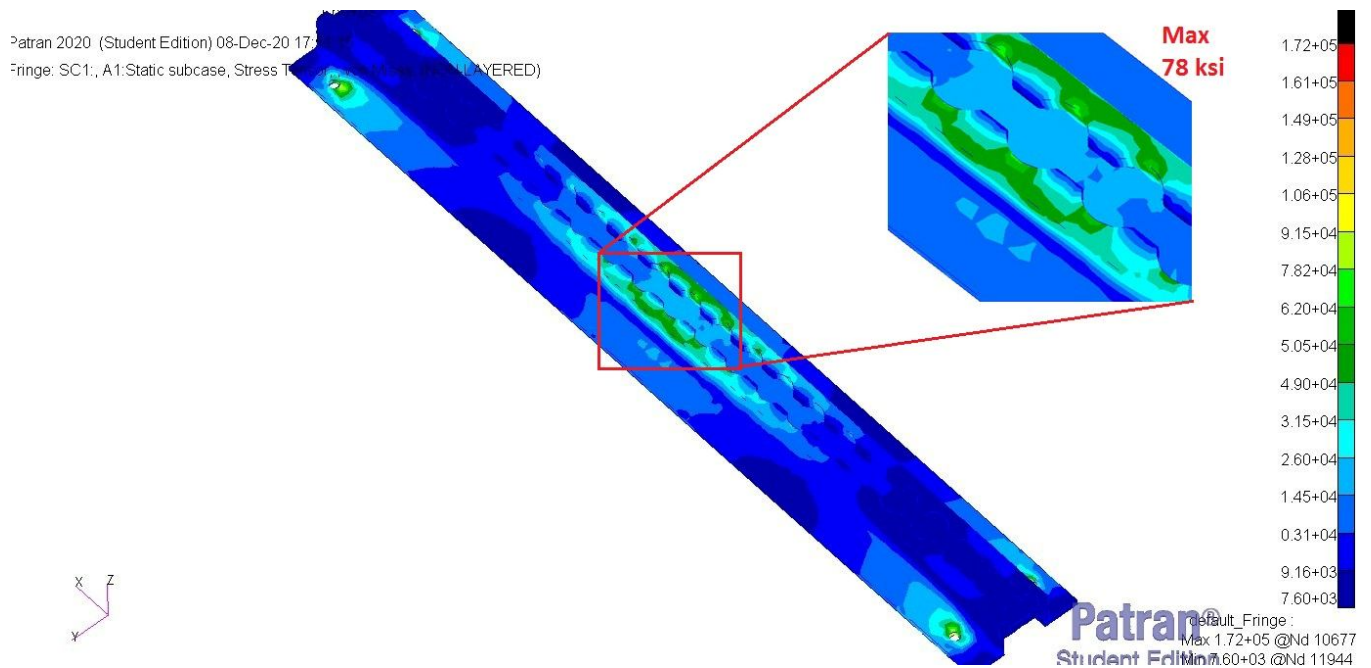


Рис 3.11. Напруження за Мізесом конструкції після ремонту

За результатами розрахунку бачимо що вплив ремонту не зовсім погіршило міцність конструкції, максимальні напруження в вона витримує критичні навантаження не руйнуючись.

На шкалі напружень в розрахунках СЕ моделі також присутні напруження, що виходять далеко за границі максимально допустимих за властивостями матеріалу. Ці напруження не враховуємо в даний розрахунок так як це зони контакту з болтами, які кріплять рейку до балок полу, для них треба проводити нелінійний розрахунок.

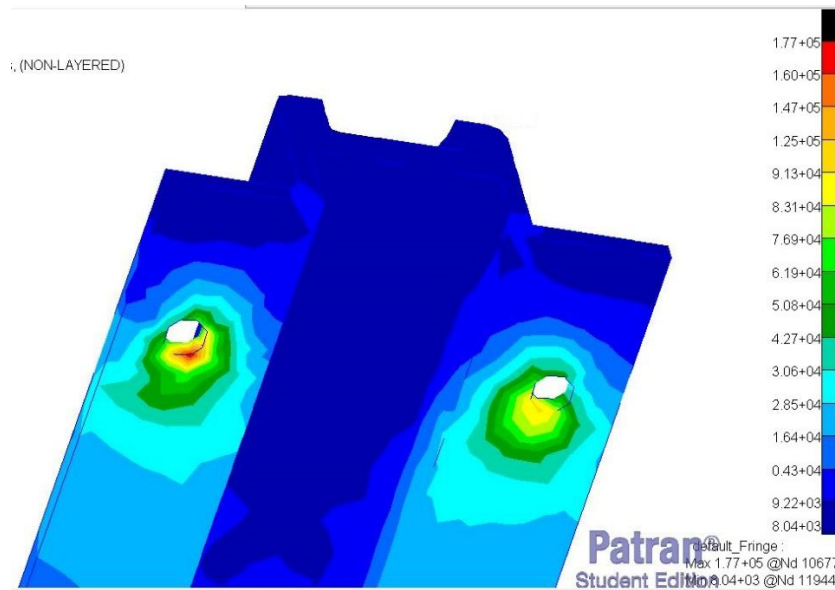


Рис 3.12. Зони контактних напружень

При втомі конструкції руйнування деталі не призведе до катастрофічного руйнування літака в польоті, пошкодження може бути виявлено при проведенні інспекцій. Сама рейка менш схильна до знакозмінних навантажень від наддуву фюзеляжу, поривів вітру.

Розділ 4. Розроблення стартап проекту

4.1. Опис ідеї проекту

В розділі проведено маркетинговий аналіз стартап проекту, визначені можливості та доцільність його впровадження на ринок.

Таблиця 4.1 Опис стартап-проекту

Зміст проекту	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Оцінка впливу зміни геометричних характеристик на розподіл внутрішніх зусиль у рейці	Машинобудівна галузь	1) Оцінка зміни геометрії на розподіл зусиль
		2) Врахування варіацій режимів навантаження

Запропонована автором отримана методика дозволяє визначити зміну внутрішніх зусиль при зміні геометричних характеристик рейки кріплення пасажирських сидінь до полу. Ці значення можна використовувати при оцінці міцності фюзеляжу.

4.2. Технологічний аудит

Реалізувати ідею проекту можна за допомогою проектних розрахунків. В табл. 4.2 проведений аналіз потенційних техніко-економічних переваг даної ідеї у порівнянні з конкурентом №1.

Таблиця 4.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	W	N	S
1.	Грошові витрати		—	Мій проект та конкурент
2.	Складність розрахунку	—	—	—
3.	Точна оцінка розподілу зусиль	Конкурент	—	Мій проект

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту наведено в табл. 4.3

Таблиця 4.3 технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технологія її реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1.	Використання залежності, яка дозволяє визначити зміну внутрішніх зусиль від зміни геометрії моделі.	Теоретичний розрахунок	є	є
		Практичне використання		
Обрана технологія може бути реалізована				

По показникам характеристики стану ринку можна зробити висновок, що даний проект є рентабельним. Визначення потенційних груп клієнтів. Потенційні групи клієнтів можна умовно поділити на первинних та вторинних споживачів продукту. Первинною групою є літальні апарати. Надалі визначимо потенційні групи клієнтів (табл. 4.4).

Таблиця 4.4. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Проектування рейок кріплень пасажирських крісел	Машинобудівна галузь	фінанси	Точність та розширення можливостей абсолютного використання ресурсу

Після визначення потенційних груп клієнтів проводимо аналіз ринкового середовища, складемо таблицю факторів, що допоможуть виходу проекту на ринок, та врахування факторів, що цьому можуть перешкодити (табл. 4.5)

Таблиця 4.5 Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Збільшення собівартості	Зменшення попиту використання	Вдосконалення вже існуючих методик
2.	Розробка покращеної методики		

Таблиця 4.6 Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Не потребує великих затрат на використання	Економність	Достойна оплата праці
2.	Підвищений попит у галузі машинобудування	Проведення проектувальних робіт	Збільшення точності прорахунку зусиль у рейці

Надалі проведемо аналіз пропозиції, визначивши загальні риси конкуренції на ринку (табл.4.7).

Таблиця 4.7 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції олгігополія	Невелика кількість підприємств, які ведуть між собою здебільшого нецінову конкуренцію.	Не відрізняється помітним впливом
Національний рівень конкурентної боротьби	Даний ринок достатньо відкритий	Помітний вплив на модернізації галузі
Внутрішньогалузева ознака	Боротьба ведеться між методиками розрахунків	Заощадження коштів в наслідок введення методики
Товаро-родова конкуренція за видом методики	Здатність задовольнити потреби галузі	Не велика кількість конкурентів
Нецінова конкуренція	Підвищення якості методики в порівнянні з іншими	Робота над постійним покращенням методики

Марочна інтенсивність	Розглядаємо в якості конкурентів схожі методики	Незалежність від ринку
-----------------------	---	------------------------

Після аналізу конкуренції проводимо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (табл. 4.8).

Таблиця 4.8. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Клієнти	Товари замітники
	Немає	Бар'єрів впровадження нема	Авіабудування	Загрози з боку заміників є
Висновки:	Низька інтенсивність	Є можливість входження в галузь	Диктують умови роботи на ринку. Такі, як час на розрахунок і забезпечення потрібним програмним забезпеченням	Відсутність обмежень від заміників

З огляду на конкурентну ситуацію існує можливість виходу на ринок даної галузі. Щоб бути конкурентоспроможним на ринку даному проекту необхідно розробити програмне забезпечення для швидкісного розрахунку методики.

На основі аналізу конкуренції, проведеного в табл.4.8, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту табл.4.2, вимог споживачів до товару табл.4.4 та факторів маркетингового середовища табл.4.5-4.6 визначаємо та обґрунтовуємо перелік факторів конкурентоспроможності.

Аналіз оформлюється в табл.4.9

Таблиця 4.9. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспро можності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Менша потреба у витратах	Для методики розрахунку мала необхідність в затратах
2	Точність розрахунків	Удосконалення отримання результатів
3	Використання отриманих даних	Максимальне вичерпання ресурсу

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 4.9) проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 10).

Таблиця 4.10. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспро можності	Бали 1-20	Рейтинг методики у порівнянні з проектом конкурента						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Менша потреба у витратах	20				●			
2	Точність розрахунків	20			●				
3	Використання отриманих даних	20					●		
4	Точність розрахунку в проекті	15					●		

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл.4.11) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл.4.10).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища.

Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 4.11. SWOT–аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Безпечне вичерпання ресурсу елементів	Слабкі сторони: відсутність програмної підтримки методики
Можливості: завоювання всієї галузі	Загрози: розробка точнішої методики

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл.4.12)

Таблиця 4.12. Альтернативи ринкового впровадження стартаппроекту

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Публічне ознайомлення, перевірка з існуючими методиками (аналогами), державне затвердження	Висока	1-2 місяці
2	Публічне ознайомлення, перевірка на справжньому експерименті, державне затвердження	Висока	6 місяців

Із зазначених альтернатив виберемо першу, бо отримання ресурсів є більш простим, а метод більш швидким.

4.3. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.13).

Таблиця 4.13. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Авіабудування	Середня	Просто

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 4.14).

Таблиця 4.14 Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Альтернативна	Охоплення на 70-80 %	Конк.№1	Спеціалізація

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.15).

Таблиця 4.15 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопроходцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики то-вару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні	Так	Копіювати лише загально використані ідеї	Стратегія заняття галузі

Результатом даного підрозділу є узгоджена система рішень щодо ринкової поведінки стартап-компанії, яка визначатиме напрями роботи стартап-компанії на ринку:

- використання в проєкті сучасних технологій;
- напрямок роботи лише у заданій ніші ринку.

4.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у (табл. 4.16) потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.16. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Не потребує великих затрат на розрхунки	Зменшення собівартості	Достойна оплата праці
2	Підвищений попит у галузі машинобудування	Збільшення виробництва та ремонту	Збільшення кількості працівників

Далі визначаємо оптимальну систему збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 4.17).

Таблиця 4.17. Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Одноразова покупка	Інформування	Глибока	Державне затвердження методики

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл.4.18).

Таблиця 4.18. Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Комунікабельні	Мережа інтернет, наукові праці	Реклама методики на конференціях	Розширення цільових клієнтів	Показати, що інша методика краща та доцільніша

Результати маркетингового дослідження:

- даний стартап-проект є актуальним, тому що може вивести машинобудівну галузь на наступну сходинку
- мала кількість конкурентів
- унікальність ідеї

Висновки

Дана конфігурація рейки може витримати критичні навантаження при аварійній посадці рівні 9g вперед з невеликим запасом міцності. Запропоновані варіанти ремонту допомагають забезпечити міцність та подальшу експлуатацію рейки. Результати роботи можуть бути використані при проектуванні рейки кріплення сидінь до полу літаків типу Boeing 737 NG.

Список використаної літератури

1. Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідн. пос. / Під заг. ред. В. В. Панасюка. Т. 9 : Міцність і довговічність авіаційних матеріалів та елементів конструкцій / О. П. Остап, В. М. Федірко, В. М. Учанін, С. А. Бичков, О. Г. Моляр, О. І. Сем енець, В. С. Кравець, В. Я. Дереча. Під ред. О. П. Остапа, В. М. Федірка. – Львів: Сполом, 2007. – 1068 с.
2. Аболихина Е. В., Моляр А. Г. Коррозия самолетных конструкций из алюминиевых сплавов // Физ.-хим. механика материалов. – 2003. – 39, № 6. – С. 106–110. (Abolikhina E. V. and Molyar A. G. Corrosion of aircraft structures made of aluminum alloys // Materials Science. – 2003. – 39, № 6. – P. 889–894.
3. Федеральные авиационные правила инженерно-авиационного обеспечения государственной авиации. Часть 1.
4. Allsafe aerospace company technical information for customers, 73ст., <https://www.allsafe-group.com/en/aerospace/#tracks>
5. МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ. АВИАЦИОННЫЕ ПРАВИЛА Часть 25 “НОРМЫ ЛЕТНОЙ ГОДНОСТИ САМОЛЕТОВ ТРАНСПОРТНОЙ КАТЕГОРИИ с Поправкой 7”, 278ст., 2014
6. С.В. Єршов КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ з дисципліни " Методи аналізу, моделювання та оптимізації процесів ОМТ, 61 ст., 2016.
7. А. Я. Карвацький МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ЗАДАЧАХ МЕХАНІКИ СУЦІЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩ, 392 ст., 2018.